

BIOKIMIA Mn DALAM TANAH

Oleh :

GUNAWAN BUDIYANTO

Agroteknologi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

I. Pengantar

Selain air dan udara, tanaman membutuhkan unsur hara lain guna melangsungkan pertumbuhan dan perkembangannya. Berdasarkan jumlah yang dibutuhkan dan diserap tanaman, unsur hara tanaman dibedakan menjadi unsur hara makro dan unsur hara mikro. Perbedaan keduanya terletak pada jumlah yang diserap tanaman. Unsur hara makro diserap tanaman dalam jumlah besar, sedangkan unsur hara mikro dibutuhkan tanaman dalam jumlah relatif kecil. Berdasarkan konsentrasi hara di dalam berat kering jaringan tanaman, hara makro merupakan hara yang di dalam jaringan tanaman konsentrasinya $\geq 0,1\%$ (1.000 ppm) dan hara mikro jika konsentrasinya dalam jaringan tanaman $\leq 0,01\%$ (100 ppm).

Kekurangan dan kelebihan unsur hara mikro bersifat spesifik, karena sifatnya sebagai kofaktor beberapa enzim. Kekurangan unsur hara mikro lebih banyak mengganggu kinerja enzim yang dibutuhkan dalam proses metabolisme, sedangkan kelebihan unsur hara mikro dapat bersifat langsung mengakibatkan keracunan.

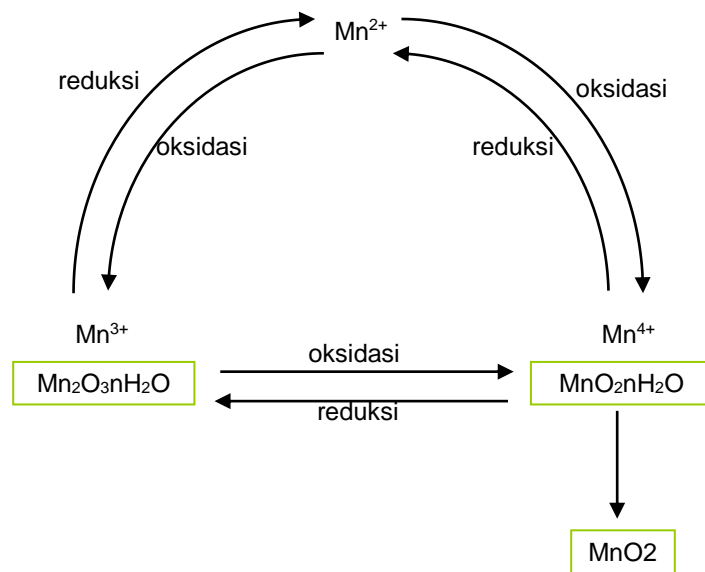
Mangan berasal dari batuan primer yang pada umumnya dalam bentuk feromagnesit. Unsur Mn yang berasal dari batuan tersebut dibebaskan lewat proses

Seminar Dosen Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Sabtu, 9 April 2016.

pelapukan mineral primer dan akan bersatu dengan O_2 , CO_2 dan SiO_2 untuk membentuk mineral sekunder terutama menjadi pirolusit (MnO_2) dan Manganit ($MnO(OH)_2$) (Mengel dan Kirkby, 1982), hausmanit (Mn_3O_4), rhodokrosit ($MnCO_3$) dan rhodonit ($MnSiO_3$) (Tisdale *et al.*, 1985). Oksida mangan dan besi lebih sering terdapat di dalam tanah secara bersama-sama dalam gumpalan.

Kandungan totalnya untuk berbagai jenis tanah sangatlah bervariasi, sebagaimana dilaporkan oleh Swaine (1955) dalam Mengel dan Kirkby (1982) bahwa kandungan Mn dalam tanah pada umumnya berkisar antara 200 sampai 3.000 ppm. Di dalam tanah mangan sedikitnya berada dalam bentuk utama, yaitu ion Mn divalent yang diikat mineral liat dan bahan organik serta ion tetravalen dalam bentuk oksida dan kadang-kadang berasosiasi dengan konkesi feri-oksida (Russel, 1973). Sebagaimana hasil penelitian Collander (1941), tingkat penyerapan unsur ini sangat beragam bergantung kepada spesies tanaman dan pada umumnya tingkat penyerapannya lebih rendah dibanding ion divalent lainnya seperti kalsium dan Magnesium. Di dalam sifat kimiawi yang dimilikinya, unsur mangan ini menunjukkan sifat yang sama dengan logam alkali lain seperti logam berat seng dan besi (Mengel dan Kirkby, 1982). Bentuk Mn dalam tanah yang terpenting adalah ion Mn^{2+} dan oksida Mn yang hadir dalam bentuk trivalent dan tetravalent. Mn dalam bentuk divalen dapat difiksasi mineral liat dan bahan organik, serta ion Mn seperti ini jauh lebih penting dibanding ion Mn yang berada dalam larutan tanah, karena ion yang terfiksasi dalam kompleks dapat berada dalam keseimbangannya dengan ion yang diserap tanaman, sehingga faktor kelebihan dan keracunan Mn

dapat dikurangi. Dion dan Mann (1945) sebagaimana diungkapkan oleh Mengel dan Kirby (1982). Hassett dan Banwart (1992) menyatakan Mn merupakan unsur yang tidak stabil dalam kondisi oksido-reduksi larutan tanah, sehingga kesetimbangan Mn dalam siklusnya di dalam tanah terletak antara berbagai bentuk Mn yang dipengaruhi reaksi tersebut sebagaimana ragaan di bawah ini :



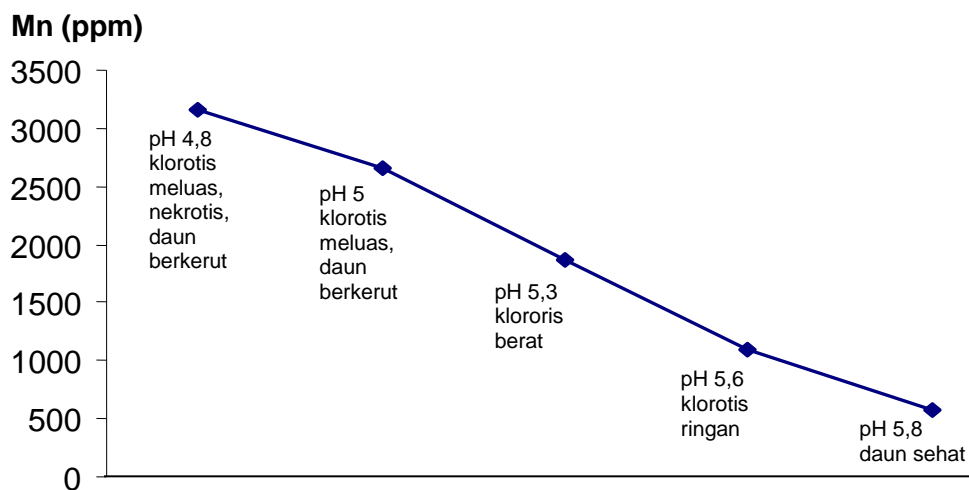
Gambar 1. Status unsur Mn dalam proses reaksi oksido-reduksi.

Skema di atas menunjukkan bahwa proses oksidasi Mn^{2+} menyebabkan immobilisasi Mn dan sebaliknya proses reduksi Mn trivalent dan tetravalent menyebabkan mobilisasi Mn karena larut di dalam larutan tanah. Sementara Adams (1984) menyatakan bahwa potensi toksisitas Mn disebabkan oleh sejumlah besar Mn yang mudah tereduksi sehingga unsur tersebut mobil di dalam larutan tanah.

Mangan merupakan suatu logam yang berfungsi sebagai aktivator beberapa enzim, termasuk oksidase, peroksidase, dehidrogenase, dan kinase yang berperan dalam proses fotosintesa dan reduksi nitrat (Okajima, 1975). Aktivitas enzim hidrosilamin reduktase yang berperan dalam perubahan NO_3^- menjadi NH_3 tergantung pada keberadaan Mn dalam jaringan tanaman. Di samping itu, Mn juga merupakan unsur esensial dalam reaksi fotosintesa, terutama proses pemecahan fraksi air menjadi ion hidrogen bebas dan oksigen (Hassett dan Banwart, 1992). Oleh karena itu kekurangan Mn dapat menurunkan asimilasi fotosintetik, karena Mn berfungsi sebagai aktivator dalam sistem oksidoreduksi dalam sistem transport elektron fotosintesis (Jones, Jr. et al., 1991). Dalam fungsi biokimiawinya, ion Mn^{2+} bersama dengan ion Mg^{2+} merupakan jembatan ATP dalam kompleks enzim fosfokinase dan fosfotranferase, di samping itu juga berfungsi sebagai aktivator enzim dekarboksilase dan dehidrogenase yang penting dalam siklus Krebs, dengan jalan mengaktivasi asam indol asetat oksidase (Mengel dan Kirkby, 1982), dan bersama-sama dengan Fe merangsang peran penting di dalam sistem enzim yang diperlukan dalam proses sintesa klorofil pada suatu jumlah keseimbangan antara keduanya (Sarief, 1986). Soepardi (1979) menyatakan bahwa mengingat peran Mn dalam siklus Krebs, kekurangan Mn dapat mengganggu respirasi tanaman. Selanjutnya dinyatakan pula bahwa Mn merupakan komponen penting dalam kloroplas dan turut dalam reaksi yang menghasilkan oksigen.

Mangan termasuk unsur hara mineral esensial yang dibutuhkan dalam jumlah relatif sedikit. Tanaman yang mengalami kekurangan Mn dapat menunjukkan flek

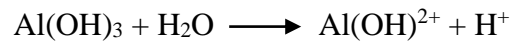
flek hitam dan selanjutnya timbul gejala klorosis antar tulang daun (*intervenial chlorosis*) (Hassett dan Banwart, 1992). Jika jumlah kelarutan Mn dalam tanah meningkat, akan segera diikuti dengan peningkatan konsentrasi Mn dalam jaringan tanaman. Dalam situasi kemasaman ada petunjuk bahwa tingkat kelarutan ion Mn meningkat yang menyebabkan kelebihan penyerapan unsur ini oleh tanaman sehingga dapat mengakibatkan ketidaklaziman morfologis. Foth dan Turk (1972) menyatakan bahwa kelebihan Mn dalam jaringan tanaman menyebabkan penurunan aktivitas unsur besi. Percobaan Lovert dan Johnson (1968) mendapatkan hubungan antara kandungan Mn dalam jaringan daun legume dan pH tanah sebagaimana gambar di bawah ini :



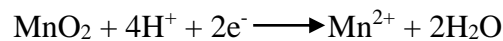
Gambar 2. Hubungan antara pH tanah dan konsentrasi Mn dalam jaringan daun kacang-kacangan.

Gambar di atas menunjukkan bahwa dengan peningkatan kelarutan Mn dalam larutan tanah akan segera diikuti serapan Mn oleh tanaman sampai tingkat toksis, yang ditunjukkan oleh kerusakan morfologis daun. Kelarutan Mn yang berhubungan

erat dengan tinggi rendahnya pH tanah dapat terjadi karena reaksi oksidoreduksi yang dialami unsur tersebut. Pada pH tanah masam selalu dihubungkan dengan kelarutan ion H^+ yang tinggi. Di dalam tanah yang terlapuk senyawa-senyawa dari kelompok hidroksid yang ada dalam kompleks mineral liat seperti Al-hidroksid akan melepas ion Al^{3+} ke dalam larutan tanah yang akan bertemu dengan air untuk menghasilkan sumber kemasaman tanah (H^+) :



Sehingga di alam larutan yang mengalami peningkatan kelarutan H^+ (pH masam), unsur Mn-oksida akan tereduksi :



Peningkatan kelarutan Mn divalen pada pH rendah akan segera diikuti oleh gejala toksisitas bagi tanaman, sebagaimana gambar 3.



Gambar 3. Gejala morfologis keracunan Mn pada daun padi.

Pada pH alkalin (basis) ion Mn divalen akan teroksidasi :



Proses oksidasi ion Mn divalen akan segera mengurangi konsentrasi Mn dalam larutan tanah, dan dapat menimbulkan gejala defisiensi Mn pada tanaman sebagaimana gambar 4.



Gambar 4. Gejala klorosis antar tulang daun jagung yang mengalami kekurangan Mn, yang jika berkelanjutan menyebabkan daun melipat ke bawah.

Jones (1979) menyatakan bahwa konsentrasi normal Mn dalam jaringan tanaman pada umumnya terletak antara 50 sampai 200 ppm, dan pada konsentrasi 400 ppm, telah masuk kedalam katagori kelebihan Mn yang dapat menimbulkan gejala-gejala keracunan. Bennet (1993) melakukan pengukuran dan pengamatan konsentrasi Mn pada beberapa komoditi yang disusun dalam tabel berikut :

Tabel 1. Konsentrasi Mn-daun pada berbagai komoditi.

Jenis Komoditi	Kandungan Mn-daun (ppm)		
	Defisiensi	Kecukupan	Toksis
Jagung	<20	20 - 160	>160
Bawang	<10	16 - 24	-
Grape	<20	31 - 150	>150
Sorgum	10 - 15	15 - 200	>500
Jeruk	<19	19 - 100	>100
Tebu	<12	12 - 100	>100

Smith *et al.* (1993) menyatakan bahwa pada pH tanah masam ketersediaan Mn dapat meningkat sampai aras toksis. Gejala kerusakan karena aras toksis ini adalah

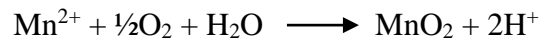
munculnya nekrosis pada daun tanaman jika konsentrasi Mn dalam daun mencapai 4.000 ppm. Dibandingkan dengan tanaman kacang-kacangan lainnya, kacang tanah tampaknya lebih toleran terhadap konsentrasi Mn tinggi, sehingga peningkatan pH tanah menjadi 5,5 lewat pengapuran tanah masam dianggap cukup dapat mengurangi kendala toksisitas.

II. Aktivitas Mikroorganisme dan Transformasi Mn dalam Tanah.

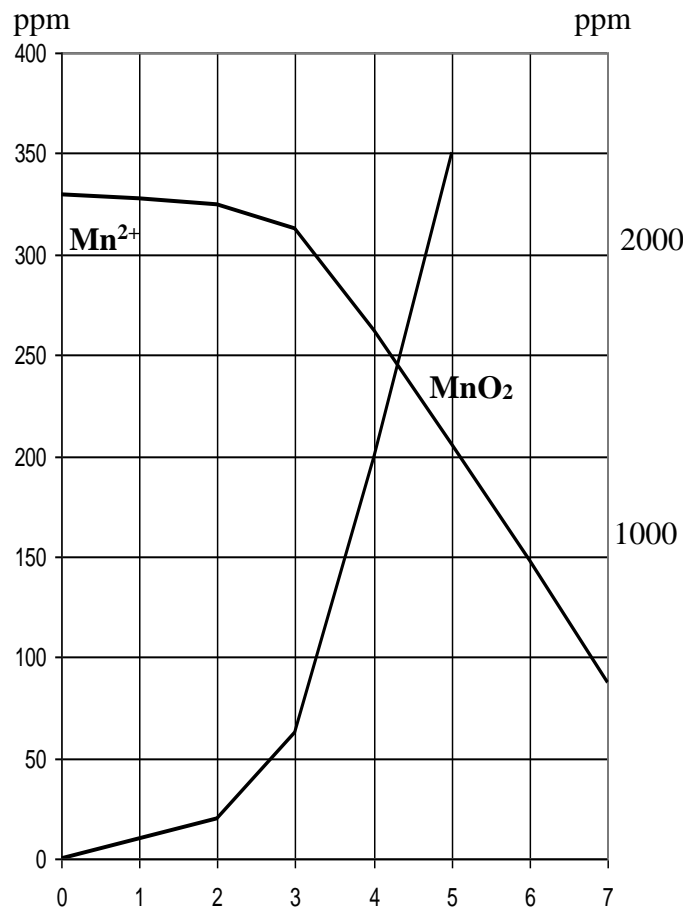
Ketersediaan hara tanaman bukan saja ditentukan oleh proses kimia yang mampu melepaskan sejumlah ion hara ke dalam larutan tanah. Mikroorganisme dalam tanah ternyata memerankan banyak hal dalam mempengaruhi ketersediaan hara tanaman melalui banyak cara, seperti pelepasan ion an-organik selama mikroorganisme merombak bahan organik tanah, pengambilan ion dari larutan tanah oleh mikroorganisme untuk membangun jaringan tubuhnya (immobilisasi), pemanfaatan ion an-organik sebagai sumber energi bagi mikroorganisme melalui proses oksidasi, pemanfaatan unsur teroksidasi sebagai aseptor elektron terutama pada saat tidak atau kurang tersedia oksigen (reduktif). Kegiatan – kegiatan ini akhirnya akan mengubah total kuantitas unsur di dalam tanah. Oleh karena itu kegiatan mikroorganisme ini telah lama dikaji terutama perannya di dalam menyebabkan berbagai macam konversi unsur-unsur teroksidasi yang di dalam tanah berada dalam memiliki kedudukan lebih dari satu valensi yang pada akhirnya akan mempengaruhi ketersediaan, kelarutan dan kedudukan teroksidasi dari banyak unsur dalam tanah.

- Oksidasi Mangan

Proses oksidasi ion mangan divalen menyebabkan ion ini termobilisasi ke dalam bentuk oksida Mn sebagai ragaan reaksi yang disampaikan oleh Silver et al. (1997) berikut ini :



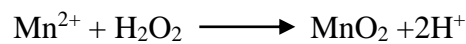
Mikroba yang terlibat dalam model oksidasi Mn ini adalah *Azotobacter* strain B, *Pseudomonas, sp.* dan *Citrobacter freundii*. Selanjutnya Alexander (1961) menyampaikan bahwa status ion Mn di dalam larutan tanah merupakan kondisi yang berhubungan dengan pH tanah. Pada reaksi yang lebih masam dari pH 5,5 sebagian besar mangan berada dalam bentuk tertukarkan sebagai Mn^{2+} , sedangkan dalam kondisi pH lebih dari 8,0 Mn^{2+} menjadi tidak stabil dan dioksidasikan menjadi oksida mangan. Tanaman tidak memanfaatkan oksida mangan, oleh karena itu kondisi alkalin (basa) sering dihubungkan dengan penyebab kekurangan mangan. Lebih lanjut Alexander (1961) juga menyampaikan bahwa suatu media tanah netral atau alkalin yang ditambahkan larutan MnSO_4 menunjukkan adanya peningkatan kelarutan kation di dalam larutan dan fase tanahnya, dan diikuti oleh menghilangnya ion mangan dari larutan tanah setelah beberapa hari masa inkubasi. Berkurangnya ion mangan ini diikuti oleh meningkatnya oksida mangan sebagaimana gambar 4. Dari percobaan ini Alexander (1961) menyimpulkan bahwa proses oksidasi mangan ini terjadi secara biologis berdasarkan adanya keselarasan antara proses oksidasi mangan dengan kurve pertumbuhan bakteri. Teknik perfusi yang memudahkan terjadinya reaksi berantai di dalam tanah telah digunakan luas dalam penelitian



Gambar 5. Oksidasi Mn^{2+} dalam tanah yang diberi $MnSO_4$

mengenai transformasi mangan secara mikrobiologis. Rao (1994) juga melaporkan hal yang bersamaan, bahwa jika $MnSO_4$ diperfusikan ke dalam tanah yang tidak disterilkan, maka akan segera terjadi oksidasi Mn^{2+} menjadi MnO_2 yang tidak larut. Bukti tidak langsung atas terjadinya partisipasi mikroorganisme dalam nutrisi mangan tanaman budidaya berasal dari penelitian mengenai mikroflora rizosfer tanaman gandum hitam (*Avena sativa*) yang dikaitkan dengan munculnya bercak kelabu sebagai gejala kekurangan mangan.

Dubinina (1979) dalam Silver *et al.* (1997) juga melaporkan bahwa terdapat mekanisme lain proses oksidasi Mn. Dalam proses oksidasi ini ion Mn divalen dioksidasi oleh peroksida (H₂O₂) menggunakan katalis peroksidase. Mikroba yang menggunakan model ini adalah *Leptothrix pseudochraea*, *Arthrobacter sidercapsulatus* dan *Metallogenium* dengan skema reaksi :



Selanjutnya Bromfield (1978) dalam Silver *et al.* (1997) juga melaporkan bahwa metabolit sekunder yang dikeluarkan oleh *Streptomyces* sp. dapat mengoksidasi Mn divalen walaupun mekanisme kimianya belum teridentifikasi dengan jelas.

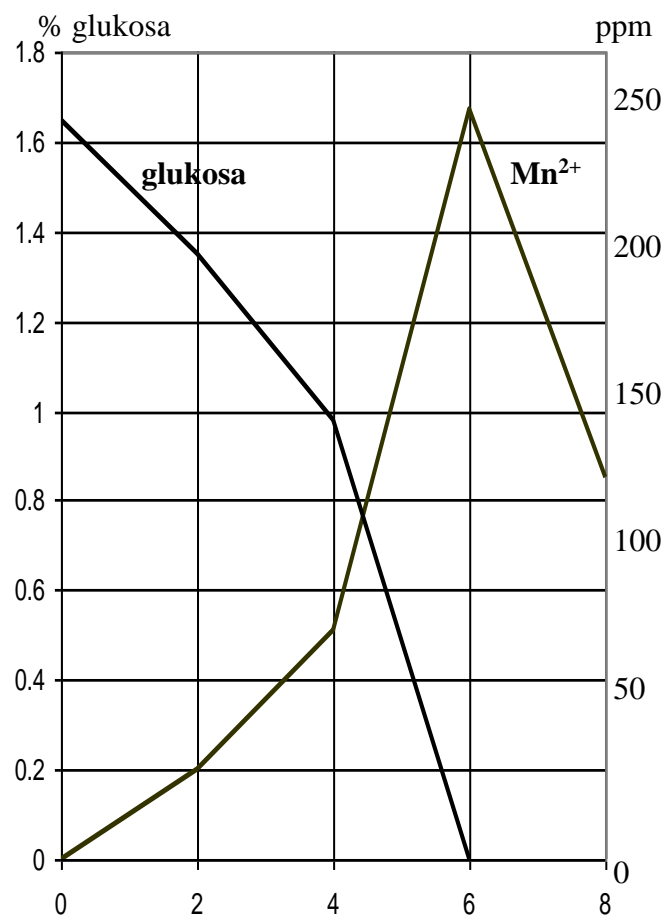
- Reduksi Mangan.

Keberadaan mikroorganisme yang dapat mereduksi oksida-Mn telah lama diketahui dapat meningkatkan ketersediaan Mn bagi tanaman. Ghiorse, W.C. (1988) bahkan menyatakan bahwa 15 sampai 36% total bakteri heterotropik di dalam kongresi dan sedimen ferromanganit yang dikoreksi dari laut Baltik Barat ternyata dapat mereduksi oksida-Mn. Berbagai macam mikroorganisme mulai dari bakteri aerob dan jamur sampai dengan bakteri an-aerob dapat mereduksi Mn sebagaimana disajikan dalam tabel 2.

Tabel 2. Mikroorganisme pereduksi Mn.

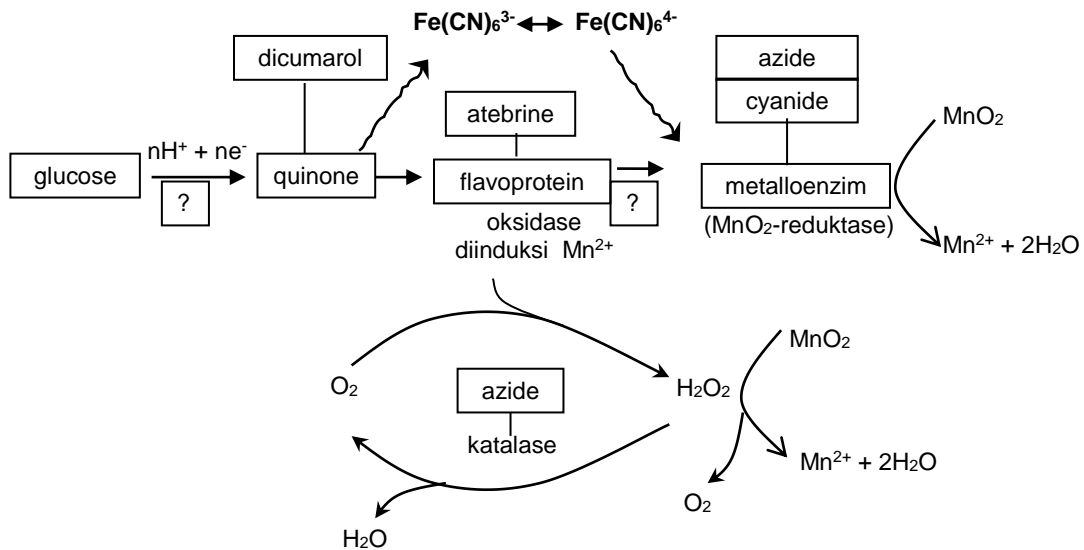
Kelompok mikroorganisme	Jenis Jasad
Aerob dan Fakultatif An-aerob Bakteri	Bacillus, Pesudomonas, Leptothrix, Monococcus
An-aerob bakteri	Clostridium, Desulfovibrio
Fungi	Aspergillus, Penicillium, Picha

Proses reduksi oksida-Mn dapat dihambat oleh keberadaan oksigen karena kondisi oksidatif atau peningkatan ion nitrat. Penghambatan reduksi oksida-Mn dapat terjadi karena mikroorganisme menggunakan oksigen dan ion nitrat sebagai aseptor elektron. Alexander (1961) memberikan informasi bahwa sebuah percobaan penambahan glukosa ke dalam media yang berisi sampel tanah yang berpenghawaan cukup, menghasilkan penurunan oksida-Mn. Hasil pengukuran media tersebut yang telah diinkubasikan selama 8 hari disajikan di bawah ini :



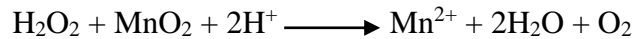
Gambar 6. Reduksi oksida-Mn dalam media yang diberi glukosa.

Untuk memberikan gambaran proses kegiatan mikroba pereduksi Mn Ghiorse,W.C. (1988) membuat simulasi reduksi oksida-Mn oleh Bacillus-29 secara laboratoris sebagai berikut :



Gambar 7. Simulasi reduksi oksida-Mn oleh Bacillus-29 secara laboratoris.

Simulasi di atas menggambarkan proses panjang sistem transport elektron dan MnO₂-reduktase untuk mengubah MnO₂ menjadi ion Mn divalen. Sedangkan H₂O₂ merupakan produk akhir proses metabolisme mikrobia yang akhirnya dapat mereduksi oksida-Mn. Dubinina (1979) dalam Ghiorse,W.C. (1988) menyampaikan bahwa ketika substrat senyawa organik dioksidasikan oleh bakteri tertentu, seperti misalnya *Leptothrix spp.*, kelebihan H₂O₂ akan diakumulasikan di dalam media kultur, jika kemudian terdapat oksida-Mn dalam media tersebut, terutama dalam kondisi masam, secara kimia oksida-Mn akan direduksikan menjadi ion Mn²⁺ dan oksigen akan dilepaskan sebagaimana reaksi berikut :



Sebagaimana diilustrasikan dalam gambar 7 di atas, ketika glukosa dioksidasikan *Bacillus-29* yang telah diinduksi oleh Mn^{2+} , H_2O_2 akan dihasilkan dan dilanjutkan dengan proses reduksi MnO_2 . Pada kajian lebih lanjut Ghiorse, W.C. (1988), mendapatkan data produksi H_2O_2 oleh *Bacillus-29* sebagai berikut :

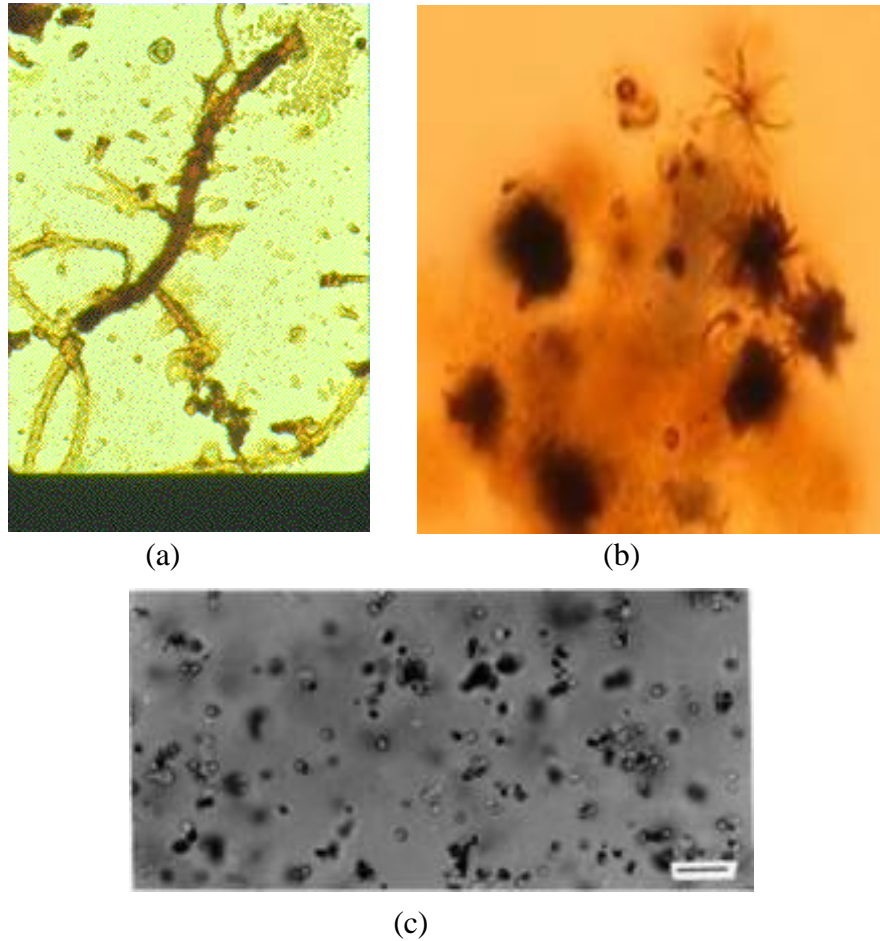
Tabel 3. Produksi H_2O_2 oleh sel *Bacillus-29*

Waktu (menit)	produksi H_2O_2 nmol/mg berat kering		
	a	b	c
0	0	0	0
15	7,3	9,0	4,2
30	6,5	8,1	3,6
60	7,6	15,4	0

a = sel yang diinduksi b= sel diinduksi+ NaN_3 c = sel tidak diinduksi
Sel yang dipergunakan dalam percobaan ini adalah sel yang diambil dari kultur *Bacillus-29* yang diinkubasikan pada suhu 37°C selama 12-15 jam di dalam medium tiruan air laut yang berisi 0,01M $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Reduksi oksida-Mn oleh H_2O_2 telah dijelaskan oleh Dubinina (1978) dalam kultur *Leptothrix pseudochraceae*, *Arthrobacter siderocapsulatus* dan *Metallogonium*, mikroorganisme sebagaimana disajikan dalam gambar 8. Dalam kasus yang mirip, juga telah didapatkan proses reduksi oksida-Mn dalam suspensi sel *Arthrobacter* lain yang kemudian disebut dengan *Corybacterium*-strain B. Selanjutnya Ghiorse, W.C. (1988) menyampaikan bahwa studi yang dilakukan Bromfeld (1956) menunjukkan bahwa oksidasi Mn yang dilakukan oleh strain ini justru dihambat H_2O_2 . Keduanya menegaskan bahwa H_2O_2 dan katalase terlibat dalam proses oksidasi Mn oleh mikroba, tetapi hanya Dubinina yang berhasil

memperagakan bahwa secara metabolik produksi H_2O_2 terlibat dalam proses reduksi oksida-Mn.



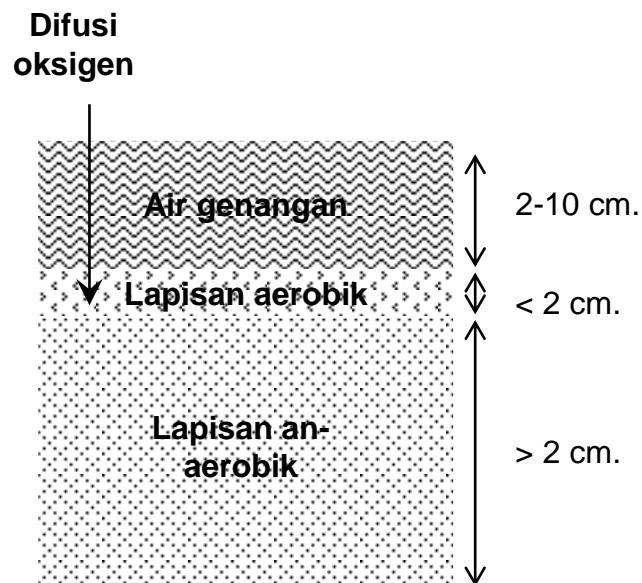
Gambar 8. Jasad yang terlibat dalam proses oksidasi dan reduksi Unsur Mn
Leptothrix (a), *Metallogenium* (b), *Leptothrix Ochraceae* (c).

III. Biokimia Mn dan Fe dalam Tanah Digenangkan (Sawah).

Budidaya lahan basah terutama pertanaman padi sawah adalah penanaman padi di atas lahan yang tergenang dan pada umumnya berada dalam kondisi reduktif

dalam waktu cukup lama. Konsep ini berbeda dengan budidaya lahan kering atau pertanaman padi gogo yang lahannya selalu berada dalam kondisi oksidatif.

Menurut Ismunadji dan Sismiyati (1988) dalam keadaan tergenang, air menggantikan udara dalam pori-pori makro dan mikro tanah, kecuali pada lapisan tipis di permukaan tanah, dan selebihnya lapisan-lapisan tanah praktis bebas oksigen setelah beberapa jam penggenangan. Dalam keadaan demikian, mikroba tanah menggunakan senyawa yang mengandung oksigen sebagai pengganti O_2 bebas sebagai aseptor elektron untuk keperluan respirasi yang menyebabkan tanah tereduksi. Menurut Pattrick, Jr. dan Reddy (1977) dalam Ismunadji dan Sismiyati (1988) bahwa dalam sistem sawah ternyata tidak semua bagian yang tergenang bersuasana reduktif, pada bagian dekat permukaan terdapat lapisan oksidatif (aerobik) sebagai berikut :



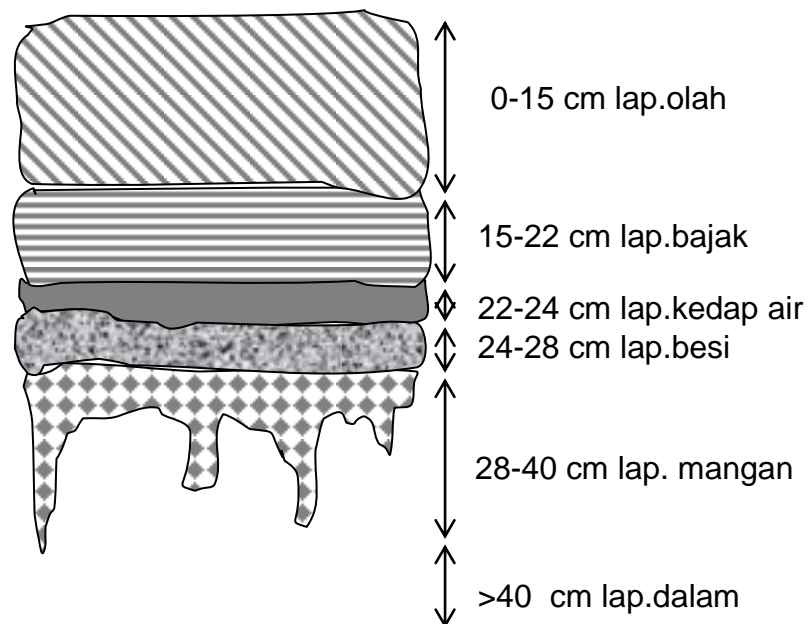
Gambar 9, Lapisan aerobik dan an-aerobik dalam lahan sawah.

Selanjutnya Ismunadji dan Sismiyati (1988) menyatakan bahwa lapisan atas tanah tergenang mengandung oksida besi, nitrogen dan belerang, sedangkan lapisan bawah mengandung unsur-unsur tersebut dalam kondisi tereduksi. Setelah tanah aerobik digenangi, akan terjadi penurunan potensi redoks (Eh) sampai mencapai nilai +0,2V sampai -0,3V yang relatif stabil, tetapi potensi redoks lapisan air dan beberapa milimeter lapisan atas tanah bertahan pada +0,3V sampai +0,5V, dengan demikian rizosfer akar dalam kondisi reduktif tetapi daerah dekat perakaran dapat teroksidasi. Fagi dan Las (1988) menyatakan bahwa pelumpuran tanah sawah berarti merusak struktur tanah dan mengubah pori-pori makro menjadi pori-pori mikro sehingga permeabilitas tanah menjadi rendah. Penggenangan air setelah pelumpuran menghentikan difusi oksigen ke dalam tanah, akibatnya kegiatan mikroba aerobik terhenti, tapi sebaliknya mikroba an-aerobik menjadi aktif. Respirasi mikroba secara an-aerobik melibatkan serangkaian reaksi oksidasi-reduksi. Dalam reaksi demikian bahan organik berguna sebagai donor elektron dan senyawa an-organik sebagai aseptor elektron yang kemudian tereduksi.

Kondisi tergenang pada lahan sawah disamping menggambarkan sedikitnya sediaan oksigen juga menimbulkan perubahan-perubahan elektrokimia seperti turunnya potensi redoks dan perubahan biokimia yang mempengaruhi status beberapa hara di dalam tanah sawah. Peningkatan pH tanah masam yang disawahkan dapat meningkatkan ketersediaan fosfat, silikon dan molibdenum, tetapi menurunkan

kelarutan seng dan tembaga, di samping itu juga terjadi reduksi beberapa unsur hara mikro seperti Al, Fe dan Mn.

Profil lahan sawah tanah Latosol Bogor yang disajikan Fagi dan Las (1988) memperlihatkan bahwa kondisi seperti berikut :

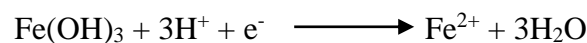
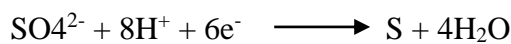
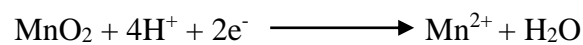
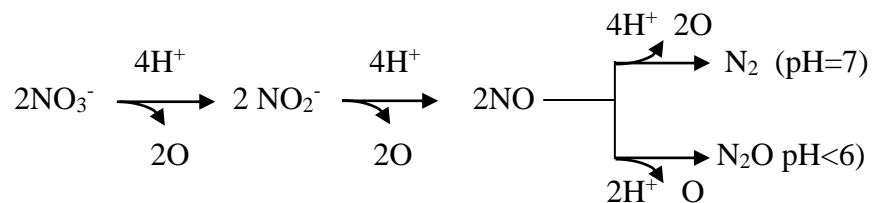


Gambar 10. Profil lahan sawah tanah Latosol (Oksisol) Bogor.

Gambar di atas memperlihatkan bahwa pemakaian piranti pengolahan tanah (pacul) yang biasanya memiliki kedalaman maksimal 15 cm, akhirnya dapat membentuk lapis olah. Demikian pula alat bajak yang digunakan berkali-kali mengakibatkan terbentuknya lapis bajak pada kedalaman 15-22 cm dari permukaan tanah. Gaya berat piranti bajak menekan permukaan tanah di dasar mata bajak menjadi mampat dan akhirnya terbentuk lapisan kedap air pada kedalaman 22-24 cm. Sifat kedap lapisan ini dapat meningkat setelah diikuti pengendapan partikel

debu dan liat di dasar genangan. Lapisan kedap inilah yang sedikit banyak dapat mempertahankan genangan dalam waktu cukup lama serta mengurangi laju difusi oksigen ke dalam tanah sawah yang meningkatkan suasana reduktif. Makin tinggi tingkat reduksi menyebabkan konsentrasi ion dalam larutan tanah makin padat dan hal ini dapat menurunkan potensi redoks.

Singer dan Munns (1987) menyatakan bahwa oksigen bebas memiliki potensial redoks di atas +300 mV, tetapi di dalam tanah tergenang potensial redoks dapat menurun drastis sampai -400mV dan ini menyebabkan mikroba an-aerob secara langsung atau tidak langsung akan mereduksi nitrat, oksida mangan, sulfat dan oksida besi sebagaimana diragakan di bawah ini :



Menurut Ponnampereuma (1965) dalam Ismunadji dan Sismiyati (1988) di tanah tergenang reduksi Mn bervalensi tinggi khususnya yang sebagian besar Mn^{4+} terjadi

hampir selamanya bersamaan dengan denitrifikasi. Di samping itu dibandingkan dengan besi, mangan lebih mudah tereduksi dan larut, oleh karena itu pelepasan Mn ke dalam larutan tanah mendahului Fe. Kemungkinan hal inilah yang menyebabkan ion Mn^{2+} lebih dahulu bergerak ke bawah dibanding Fe^{2+} , oleh karena itu gambar 10 yang disajikan oleh Fagi dan Las (1988) menunjukkan bahwa lapisan mangan terdapat di bawah lapisan besi.

Reduksi Fe dan Mn yang dapat meningkatkan konsentrasi ion divalen kedua unsur tersebut akhirnya menjadikannya ion tertukarkan yang patut mendapatkan perhatian, terutama jika dihubungkan dengan kemungkinan keracunan pada tanaman padi. Ismunadji dan Sismiyati (1988) menyampaikan bahwa keracunan besi dapat terjadi bila tanaman padi mengakumulasikan besi dalam takaran tinggi. Hal ini seringkali berkaitan dengan dengan kadar besi ferro yang tinggi dalam larutan tanah. Konsentrasi tinggi besi ferro ini juga dapat menekan serapan hara lain seperti fosfor dan kalium.

Keracunan besi lebih sering dijumpai pada tanah-tanah yang bereaksi masam dan drainase buruk yang pada umumnya terdapat dalam tanah – tanah rawa dan areal pasang surut yang masih ditambah dengan gejala keracunan H_2S .

Gejala keracunan Mn biasanya muncul pada persawahan dari areal pasang surut atau pengeringan lahan yang menyebabkan terjadinya oksidasi senyawa pirit (FeS). Proses ini akan memunculkan tanah sulfat masam dengan pH ekstrim rendah.

Karakteristik keracunan Fe dan Mn masing-masing bersifat spesifik. Keracunan Fe pada padi biasanya muncul bercak-bercak coklat kecil pada daun bagian bawah yang dimulai dari ujung daun dan menjalar ke dasar daun. Sedangkan keracunan Mn menyebabkan tanaman padi menjadi kerdil dengan anakan terbatas disertai dengan munculnya bercak coklat pada tulang daun dan tulang pelepah daun, terutama pada daun bagian bawah.

PENUTUP.

Hara Mn merupakan hara mikro esensial bagi tanaman, karena walaupun dibutuhkan dalam jumlah relatif sedikit, tetapi mutlak harus tersedia. Statusnya yang terletak antara kondisi kekurangan-tersedia-toksik dan jumlah yang diserap tanaman, menyebabkan unsur ini hanya memiliki kisaran ketersediaan sempit. Dengan kata lain perubahan sedikit saja konsentrasi ionnya di dalam tanah menyebabkan unsur ini berada dalam kedudukan antara tersedia atau toksik bagi tanaman. Status tersedia dan tidak tersedia bagi unsur ini terletak pada kondisi apakah unsur tersebut berada dalam bentuk ion yang larut (termobilisasi) ataukah berada dalam bentuk senyawa tidak larut (dalam bentuk oksida yang terimmobilisasi). Dari segi kimia, status ini lebih banyak ditentukan oleh kondisi reaksi oksido-reduksi unsur yang bersangkutan.

Oksidasi merupakan proses kimia yang menyebabkan bentuk unsur ini terimmobilisasi dan mengendap sebagai oksida-Mn. Sedangkan proses reduksi dapat membuat oksida-Mn menjadi aktif, bermuatan dan larut di dalam larutan tanah.

Proses oksido-reduksi unsur Mn dipengaruhi oleh beberapa hal di antaranya adalah reaksi tanah (pH tanah), kandungan lengas (*soil moisture*), organik bahan organik tanah dan aktivitas mikroba dalam tanah. Hasset dan Banwart (1992) menyatakan bahwa mangan dapat bersifat toksik bagi tanaman terutama jika berada dalam tanah-tanah masam. Tanaman yang ditumbuhkan dalam kisaran pH masam sampai pH basis menunjukkan gejala yang membuktikan bahwa pH berpengaruh kuat terhadap status hara ini. Tanaman yang tumbuh dalam suasana pH masam menunjukkan gejala keracunan Mangan, terutama munculnya gejala klorosis dan berkerut. Sedangkan jika tumbuh dalam suasana pH agak basis sampai basis, tanaman mulai menunjukkan gejala kekurangan mangan, dan hanya pada kisaran pH yang sempit saja, tanaman akan menunjukkan gejala pertumbuhan yang sehat. Barber (1984) menegaskan hubungan kuat antara pH dan status Mn ini dengan menyatakan bahwa konsentrasi ion Mn^{2+} di dalam larutan tanah akan menurun 100 kali untuk setiap kenaikan satu unit pH tanah.

Kandungan lengas (kadar air) dalam tanah yang dapat dimanfaatkan tanaman berkisar antara kadar air kapasitas lapangan sampai titik layu. Kondisi yang paling ideal bagi tanaman adalah kadar air kapasitas lapangan yang menunjukkan imbalan

serasi antara kadar air dan udara karena pada kondisi seperti ini pori-pori makro tanah terisi udara dan pori-pori mikro tanah terisi air, sementara jika keseluruhan ruang pori terisi air menyebabkan tercapainya kejenuhan tanah terhadap air. Kandungan air dalam tanah menyebabkan tanah dapat berada dalam kondisi teraerasi (aerob) atau oksidatif dan an-aerob atau reduktif, sehingga akhirnya kondisi aerob-an aerob ini dapat menentukan kelarutan mangan dalam tanah.

Barber (1984) menyatakan bahwa di dalam tanah dengan kandungan bahan organik cukup ion divalen Mn dapat membentuk kompleks dengan senyawa organik tanah yang mempengaruhi kelarutannya. Bentuk bentuk kompleks organik-Mn ini ternyata berpengaruh kepada sejumlah hara mangan yang dapat dipertukarkan. Selanjutnya Adams (1984) menegaskan bahwa dalam tanah dengan kandungan bahan organik tinggi, kompleks organik-Mn ini dapat mengeluarkan unsur Mn dari sistem larutan tanah.

Kedudukan mangan di dalam sistem biokimiawi tanah, kekurangan-ketersediaan dan toksisitas Mn sangat dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme dalam tanah. Beberapa jenis mikroba dalam tanah dapat mengoksidasi dan mereduksi mangan. Pakar mikrobiologi seperti Dubinina (1978) dan Bromfield (1956, 1978)) telah membuktikan bahwa *Leptothrix pseudochraceae*, *Arthrobacter siderocapsulatus* dan *Metallogonium* secara nyata berperan di dalam proses oksidasi ion divalen Mn dan reduksi oksida-Mn (Ghiorse, W.C., 1988; Silver et.al., 1997).

DAFTAR BACAAN

- Adams Fred (1984). *Crop Response to lime in the Southern USA* dalam *Soil Acidity and Liming*. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin USA :246-249.
- Alexander Martin.1961. *Introduction to Soil Microbiology*. John Wiley & Sons, Inc. New York-London : 408-415.
- Barber, S.A. 1984. *Soil Nutrient Bioavailability*. A Wiley-Interscience Publ. John Wiley & Sons: 331-337.
- Bennet, W.F. 1993. *Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plant*. The American Phytopathological Society. St. Paul Minnesota : 12,23,40, 134,166,177.
- Fagi Ahmad, M. dan Las Irsal.1988. *Lingkungan Tumbuh Padi dalam Padi Buku I*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor : 167-213.
- Ghiorse, W.C. 1978. *Microbial Reduction of Manganese and Iron* in *Biology of Anaerobic Microorganism* edited by Zehnder, A.J.B. A Wiley Interscience Publ. John Wiley & Sons. New York : 305 – 327.
- Foth, H.D. dan Turk, L.M.1972. *Fundamentals of Soil Science*. John Wiley & Sons, Inc. New York London, Sydney, Toronto:288.
- Hassett, J.J. dan Banwart, W.L.1992. *Soils and Their Environment*. Prentice Hall. New Jersey : 95.
- Ismunadji, M. dan Sismiyati, R.1988. *Hara Mineral Tanaman Padi dalam Padi Buku I*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor : 231-269.
- Jones, U.S.1979. *Fertilizers and Soil Fertility*. Reston Publ.Co. Virginia:264.
- Jones, Jr., Wolf, B. dan Mills, H.A. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publ. Inc. Georgia :16,82-83.
- Lovert, W.J. dan A.D. Johnson.1968. *Manganese Uptake by Tobacco and Use of Other Seondary and Micronutrient Fertilizers* dalam *Fertilizer and Use*. Soil Sci. Society, Inc. Madison. USA :90-112.
- Mengel, K. dan Kirkby, E.A. 1982. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute. Switzerland :491-498.
- Okajima, H.1975. *The Physiology of Iron and Manganese in Plant* dalam *the Significance of Minor Element on Plant Physiology* :1-29.
- Rao Subba, N.S. 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. Diterjemahkan oleh Herawati Susilo Universitas Indonesia Press. Jakarta:279-280.
- Russel, E.W. 1978. *Soil Conditions and Plant Growth*. William Clowes and Sons. London :40-41.
- Sarief, S.E. 1986. *Ilmu Tanah Pertanian*. Pustaka Buana Bandung.

- Silver, M., Ehrlich, H.L. dan Ivarson, K.C. 1997. Transformasi Mineral Tanah dengan Bantuan Mikroba Tanah dalam Interaksi Mineral Tanah dengan Organik Alami dan Mikrob disunting oleh Huang, P.M. dan Schnitzer, M.. Diterjemahkan oleh Didik Hadjar Goenadi dan Sudarsono. Gadjah Mada Univ.Press. Yogyakarta : 754 – 770.
- Singer, J.S. dan Munns, D.N. 1987. *Soils-an Introduction*. Macmillan.Co. New York : 156-157.
- Smith, D.H., Wells, M.A., Porter, D.M. dan Cox, F.R. 1993. *Peanuts dalam Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plant* edited by Bennet, W.F. The American Phytopathological Society. St. Paul. Minnesota: 109.
- Soepardi, G. 1982. Pengapuran untuk Meningkatkan dan Melestarikan Produktivitas Lahan Bereaksi Masam. Departemen Ilmu Tanah. IPB. Bogor. 224h.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L. and Beaton, J.D. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers* 4th-ed MacMillan Publ.Co. New York : 372-377; 484-499.